

Analys av Netflix

Adrian Murphy, ad5880mu-s@student.lu.se
Daniel Larsson, da6625la-s@student.lu.se

Sammanfattning—I denna rapport undersöker vi hur strömningstjänsten Netflix anpassar bithastighet och buffertlängd för video efter användarens överföringskapacitet, vilka överföringsprotokoll som används, samt hur trafiken till Netflix fördelas med hjälp av ett CDN. Data om videons buffert och bithastighet hämtades från Netflix diagnostiska verktyg, och trafiken undersöktes i detalj med Wireshark. Undersökningen visar på att Netflix anpassar videons bithastighet efter användarens överföringskapacitet och videons buffertlängd, att dataöverföringar utnyttjar TCP med säkerhetsprotokollet TLS, samt att ett CDN används genom Netflix projekt Open Connect.

I. INLEDNING

”Video on demand”-tjänsten Netflix har, sedan den fysiska videouthyrningen successivt fasats ut till förmån för digitala alternativ, varit en gigant på marknaden. Att leverera kvalitativ och oavbruten video till sina ungefär 150 miljoner användare, spridda över 190 länder (2016), är långt ifrån trivalt [1]. I mätningar av världens internettrafik framgår det att Netflix i snitt utnyttjar 12.9% av internets sammanlagda överföringskapacitet (2019) [2]. I denna rapport undersöker vi översiktligt hur Netflix löser de krav som ställs på världsomspännande hög videokvalitet och oavbruten uppspelning genom att huvudsakligen undersöka hur Netflix buffert fungerar vid olika överföringshastigheter, men också genom att titta närmre på internettrafiken mellan Netflix och slutanvändaren.

II. FRÅGESTÄLLNING

För att undersöka Netflix med avseende på videons uppspelning och kvalitet tog vi fram några huvudsakliga frågeställningar som behandlar relevanta tekniker. Främst vill vi kvantitativt undersöka hur videons bithastighet och buffert uppdateras vid Netflix olika rekommenderade överföringshastigheter, och om dessa på något sätt beror på varandra. Vidare vill vi undersöka hur Netflix geografiskt fördelar sin trafik (till exempel i form av ett CDN), samt mer detaljerat undersöka vilka protokoll som används och vad det finns för fördelar med just dessa i Netflix fall.

III. BAKGRUND

Med detta projekt följer en del terminologi och teori som är användbar för att enklare kunna följa rapporten.

A. Bithastighet

Bithastighet kan betyda flera olika saker beroende på ämnet. I denna rapport avser vi måttet på den mängd information som finns lagrad i en sekund video, alltså ett slags mått på videons detaljrikedom och kvalitet, som mäts i bps (bitar per

sekund) [3]. I Netflix fall komprimeras och kodas allt innehåll i upp emot 50 olika versioner med varierande detaljrikedom, med motsvarande bithastigheter, varmed de kan anpassa videon efter slutanvändarens överföringskapacitet. Bithastigheterna anpassas också efter de krav mediet i sig ställer på detaljrikedom; en actionfilm kräver exempelvis högre bithastighet än en tecknad serie [4]. I denna rapport undersöker vi tre parametrar som berör bithastighet: buffertlängden i sekunder (buffer length), den bithastighet som ”buffras”/hämtas ned (buffer bitrate) samt den bithastighet som bearbetas och spelas upp (playing bitrate).

B. Dynamic Adaptive Streaming over HTTP

DASH (också känt som MPEG-DASH eftersom standarden utvecklats av MPEG) är en strömningsteknik som, med en så kallad ”bit rate adaptation algorithm”, kan välja optimal bithastighet beroende på användarens förutsättningar. DASH har många likheter med det mer traditionella HLS (HTTP Live Streaming), så till vida att de båda delar upp det utgående mediet i mindre HTTP-baserade nedladdningar. Bland annat YouTube och Netflix utnyttjar olika implementationer av DASH [5].

C. Buffert

De flesta strömningstjänster använder någon slags databuffert för att uppnå oavbruten uppspelning och Netflix är inget undantag. En buffert innebär kort att data hämtas i förväg och lagras i det lokala minnet, för att sedan läggas i ordning och spelas upp efter hand [6].

D. Content Delivery Network och Open Connect

Ett ”Content Delivery Network” (CDN) innebär att nättjänster har flera geografiskt utspridda servrar med samma innehåll, varmed tjänsterna kan komma närmre sina användare och möjliggöra snabbare dataöverföringar. Fler servrar med tjänstens innehåll innebär också en säkerhet, om en server skulle gå ned finns innehållet fortfarande tillgängligt på flera andra varmed tjänsten kan nå ut till sina kunder [7]. Netflix har, med sitt projekt ”Open Connect”, utvecklat detta koncept ytterligare. Genom att direkt installera så kallade ”Open Connect Appliances”, en slags strömningsspecialiserad servermodul med allt Netflix innehåll, hos strategiskt utvalda internetleverantörer och knutpunkter lyckas man fördela sin trafik finare och mer lokalt [8].

E. Rekommenderade överföringshastigheter

Netflix rekommenderar följande överföringshastigheter för videoströmning [9]:

Tabell 1

Hastighet	Kvalitet
0.5 Mbit/s	Lägsta
1.5 Mbit/s	Rekommenderad
3 Mbit/s	SD
5 Mbit/s	HD
25 Mbit/s	UHD

IV. METODBESKRIVNING

Metoden kan delas upp i två delar: vår testmiljö, verktyg och inställningar samt själva testet.

A. Testmiljö, verktyg och inställningar

Undersökningen genomfördes i lägenhetsmiljö, på en dator ansluten till det trådlösa nätverket. Vid undersökningens tidpunkt var 4 enheter (inklusive testdatorn) anslutna till nätverket. Anslutningens hastighet, som egentligen ligger på 1 Gbit/s både ned och upp och hålls till handa av Bredband2 AB, kunde kontrolleras med verktyget "Traffic Manager", som finns inbyggt i routern av modell Asus RT-AC1200 med NAT-funktion. Själva experimentet genomfördes måndagen den 9/12-2019, mellan klockan 13 och 15 i Lund.

Analys av både inkommande och utgående datapaket genomfördes med hjälp av verktyget Wireshark. Wireshark låter oss filtrera bort de paket som inte behandlar Netflix, för att kunna undersöka strömmens beteende. På grund av hur Netflix buffert fungerar, med en stor nedladdning av data i början som formligen täcker över hela Wiresharks händelsefönster, blev det mycket tydligt vilken server Netflix kommunicerade med, varpå vi kunde fokusera på den ifrågasvarande servern med hjälp av kommandot `ip.addr==x.x.x.x`.

Eftersom Netflix datapaket är krypterade, kunde vi inte hitta någon information om strömmens bithastighet och buffert där. I stället använde vi Netflix inbyggda diagnostiska verktyg som aktiveras med kortkommandot `ctrl+alt+shift+d`. För att hämta denna information skrev vi ett enkelt JavaScript-program, som antecknar det diagnostiska verktygets data en gång i sekunden. Skriptet skriver sedan ut denna information i pdf-format, som vi kör genom en syntaxanalyserare (skriven i programspråket Go). I syntaxanalyseraren klipper vi ut de relevanta sekvenser som beskriver bithastigheten för både uppspelning och buffert, samt buffertens storlek i sekunder. Vi ignorerar ljudöverföringen och fokuserar i stället på den mer krävande videoöverföringen, som ger större variationer i mätningarna. Slutligen skrev vi ytterligare ett Go-program som överför datan från syntaxanalyseraren till grafer.

Själva experimentet genomfördes på de första 240 sekunderna av den andra säsongens första avsnitt av *Stranger Things*, på Netflix automatiska kvalitetsinställning. På grund av seriens mer actionfyllda inslag med stor detaljrikedom kräver den något högre bithastighet, varför den lämpar sig väl som måttstock för ett prestandatest.

B. Test

Vi genomförde experimentet för tre olika hastigheter som ställdes in i "Traffic Manager": 0.5 Mbit/s, 1.5 Mbit/s och 5 Mbit/s. Motiveringen av dessa tre är att:

- 1) Den lägsta rekommenderade hastigheten (enligt tabell 1), 0.5 Mbit/s, är intressant att testa för att se om den faktiskt ger godtagbar videokvalitet
- 2) Den rekommenderade hastigheten, 1.5 Mbit/s, är intressant att testa för att se vilken kvalitet Netflix tycker är att rekommendera
- 3) Seriens högsta upplösning är 1280x720p (HD), vilket motsvarar 5 Mbit/s i tabell 1. Hastigheten blir då intressant att undersöka för att se om Netflix rekommendation håller i verkligheten

Testerna genomfördes tre gånger för respektive hastighet, för att säkertställa att inga tillfälliga avvikelser i överföringshastighet påverkade resultatet i allt för stor utsträckning. Datan för de tre testen sammanfogades sedan till en och samma fil, där vi använde ett genomsnitt som mätvärde. Det var denna fil som vi sedan matade Go-programmet med. För varje test användes också en ny instans av Chromes inkognitoläge, för att undvika att data från ett äldre test skulle vara cachat i webbläsaren.

I Wireshark kollade vi på trafiken i huvudfönstret, där vi också kunde se vilka protokoll paketerna använde sig av. För att mäta bandbredden använde vi en "I/O-graf". Observera att Wireshark-delen av experimentet endast genomfördes för det tredje deltestet för 1.5 Mbit/s respektive 5 Mbit/s, där vi för 1.5 Mbit/s också jämförde Netflix trafik med den totala trafiken.

För att kolla upp en IP-adress geografiska plats använde vi oss av hemsidan www.iplocation.net. Vi använde även terminalens kommando "tracert" för att spåra anslutningen till adressen.

V. VALIDITET OCH BEGRÄNSNINGAR

Felkällor och begränsningar i undersökningen innefattar bland annat det faktum att de överföringshastigheter som vi testat för inte alltid behöver motsvara faktisk överföringshastighet. Det kan naturligtvis ske störningar, både på vårt nätverk och hos Netflix, som påverkar dataöverföringskapaciteten ("throughput"). Throughput är en av de saker som är synliga i Netflix diagnostiska verktyg och vi kan tydligt se att det fluktuerar något under testen. Skillnaderna är däremot inte särskilt extrema och det är vår förhoppning att de tre test vi gör för varje hastighet minimerar genomslaget av eventuella tillfälliga störningar i resultaten.

Ytterligare en begränsning är att mätningarna startas manuellt och separat, vilket inte ger millisekundprecision. Strömmen måste exempelvis först sättas igång, varpå vi startar mätningarna av det diagnostiska verktyget och Wireshark var för sig. Ungefär två sekunder hinner alltså passera mellan att strömmen startas och sista testet sätts igång. Detta innebär att Netflix kan ha hunnit buffra lite grann innan vi hinner starta testen.

VI. RESULTAT

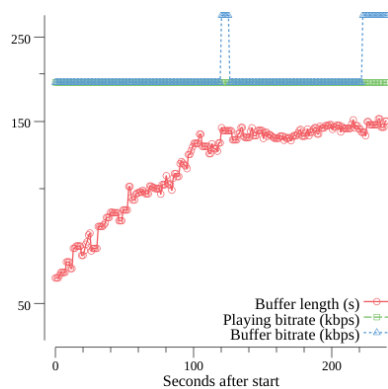
Under undersökningen i Wireshark blev det snabbt tydligt att all trafik med Netflix utnyttjade TCP, med TLS som

säkerhetsprotokoll. Innehållet i paketen var därför krypterat och oläsligt för oss. Det framgick också att trafiken skedde mellan oss och IP-adressen 82.209.163.2, som tillhör "Bredband 2 Infrastructure", vår internetleverantör, i Malmö. Med "tracert"-kommandot kunde vi spåra trafiken till adressen, som också har domännamnet "nflx-video.bredband2.net" (se figur 1).

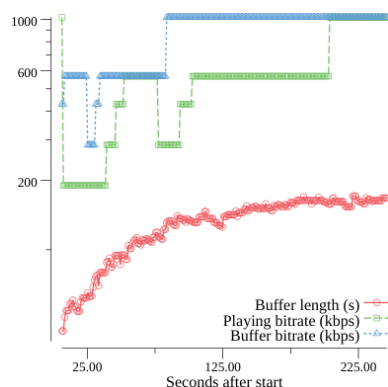
I figur 2 till 4 redovisas de grafer som vi erhöll från den kod som analyserade datan från Netflix diagnostiska verktyg. Observera att de redovisas i logaritmisk skala; ökningen av bufferten är alltså någorlunda linjär innan den planar ut. I figur 5 redovisas bandbredden över tid för samma ström som i figur 3, där de vita staplarna är Netflix-trafiken och de svarta den totala trafiken. I figur 6 redovisas bandbredden över tid för samma ström som i figur 4.

```
tracing route to nflx-video.bredband2.net [82.209.163.2]
over a maximum of 30 hops:
  0  <1 ms  <1 ms  <1 ms  router.asus.com [192.168.1.1]
  1  5 ms   69 ms   8 ms   31-208-64-1.cust.bredband2.com [31.208.64.1]
  2  15 ms  19 ms   70 ms  nflx-video.bredband2.net [82.209.163.2]
Trace complete.
```

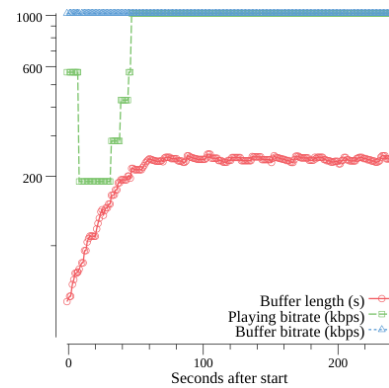
Figur 1. "tracert" för 82.209.163.2



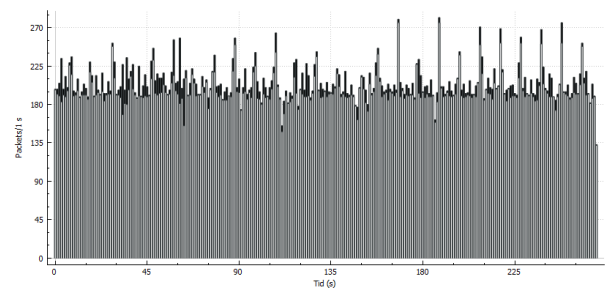
Figur 2. Bithastighet och buffertlängd vid 0.5 Mbit/s



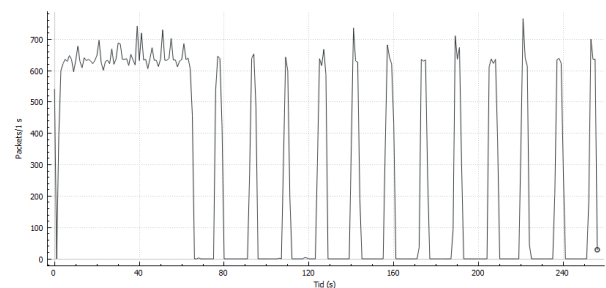
Figur 3. Bithastighet och buffertlängd vid 1.5 Mbit/s



Figur 4. Bithastighet och buffertlängd vid 5 Mbit/s



Figur 5. Paketfångst från Netflix (vita staplar) vid 1.5 Mbit/s jämfört total paketfångst (svarta staplar)



Figur 6. Paketfångst från Netflix vid 5 Mbit/s

VII. DISKUSSION

Resultaten kan, utifrån frågeställningen, tolkas i två delar: dels om bufferten och bithastigheten, dels om CDN och protokoll.

A. Buffert och bithastighet

I figur 2 till 4 blir det ganska tydligt att Netflix använder sig av MPEG-DASH med en adaptiv bithastighet som i högsta grad beror på överföringshastigheten; för 0.5 Mbit/s (se figur 2) ligger uppspelad bithastighet helt stabilt på 190 kbps, trots att buffertlängden stadigt ökar från ungefär 60 till 150 sekunder. Vi ser däremot att bithastigheten som buffras stiger från 190 till 285 kbps. Anledningen till att denna förändring är inkrementell, och inte kontinuerlig, är som tidigare nämnt att Netflix kodar videon i olika definitiva bithastigheter - ett

kännetecken för DASH. Övergången i buffrad bithastighet verkar sammanträffa (2 gånger i grafen) med att buffertlängden något överstiger 140 sekunder, vilket man får tolka som en slags tröskel för algoritmen innan den väljer att gå från 190 till 285 kbps.

För 1.5 Mbit/s (figur 3) ser vi att uppspelad bithastighet utgår från 1021 kbps, för att redan två datapunkter senare (2 sekunder) sjunka till 190 kbps. Buffrad bithastighet stiger dock från 429 till 567 kbps. Den tidiga nedgången uppfattas för tittaren som att bilden retsamt går från en högre till en ganska låg upplösning så fort de sätter i gång videon. Man kan givetvis spekulera i var denna ambitiösa ansats har sin grund; kanske förknippar algoritmen överföringshastigheter med en viss bithastighet, varför den skulle utgå från 1021 kbps för 1.5 Mbit/s. Möjligen väljer sedan algoritmen fortsatt bithastighet med avseende på buffertlängden, som naturligtvis är kort i början, varför den skulle sjunka. Denna dramatiska variation hade hur som helst sannolikt kunnat skötas bättre genom att medvetet börja med en lägre bithastighet som därefter stiger. På så vis märker tittaren endast förbättringar i kvalitet, vilket leder till en mer positiv upplevelse. I figur 3 tydliggörs också ett presumtivt samband mellan buffrad och uppspelad bithastighet: nedgångar i uppspelad bithastighet verkar efterföljas av nedgångar i buffrad och uppgångar i buffrad bithastighet verkar efterföljas av uppgångar i uppspelad. Anmärkningsvärda är också de små nedgångarna i buffertlängd kring 120 respektive 200 sekunder efter start som verkar sammanfalla med en höjning av uppspelad bithastighet. Som sammanfattning för figur 3 kan man säga att strömmen kämpar något med att höja bithastigheten innan den verkar stabilisera sig på 1021 kbps (720p), med en buffertlängd på ungefär 170 sekunder, cirka 220 sekunder efter start.

För 5 Mbit/s (figur 4) ser vi, liksom för 1.5 Mbit/s, att uppspelad bithastighet kanske utgår från ett lite ambitiöst värde, varpå det sjunker och så småningom stiger igen. Strömmen stabiliserar sig däremot tämligen fort, cirka 50 sekunder efter start, med en buffrad och uppspelad bithastighet på 1021 kbps och en buffertlängd på cirka 240 sekunder. För buffertlängdens vidkommande tycker vi oss här utrona ett generellt beteende: grafen uppvisar ett slags vågmönster, där bufferten kort verkar tömmas ut varpå den snabbt fylls på igen. Bufferten töms alltså inte helt ut, utan endast mycket marginellt.

Beteendena för figur 3 och 4 förklaras ytterligare genom figur 5 och 6. När vi betraktar figur 5 blir det mycket tydligt vilka problem strömmen har med att komma i fatt sin bithastighetsmålsättning. Trafiken till och från Netflix är mer eller mindre lika med den totala trafiken genom hela testet; ha då i åtanke att vi inte ens har lagt oss vinn om att stänga av några bakgrundsprogram. Att strömma Netflix på en trådlös 1.5 Mbit/s-uppkoppling får anses vara ganska påfrestande för nätverket, och kommer sannolikt att försämra tillgången ut till internet för andra enheter som delar på länken. För figur 6 ser vi att trafiken är mycket intensiv under de första 60 sekunderna, varpå den går in i ett nytt slags tillstånd med sporadiskt intensiv trafik. Denna observation stämmer överens med den vi gjorde för figur 3, där vi tyckte oss se en stabilisering av buffertlängd ungefär 50 sekunder efter start, men också observationen om ett slags vågbeteende hos

bufferten.

B. CDN och protokoll

Teorin om Netflix "Open Connect" verkar stämma överens med verkligheten; strömmen hämtar data från vår internet-leverantör i Malmö, från en adress som ganska övertygande har domännamnet "nflx-video". I figur 1 ser vi hur det endast krävs tre hopp för att nå servern, vilket är anmärkningsvärt kort. Det märks att Netflix har gjort stora ansträngningar för att effektivisera sin trafikfördelning. Vidare noterade vi att Netflix använder sig av TCP, med säkerhetsprotokollet TLS (version 1.2). Fördelen med TCP gentemot exempelvis UDP är naturligtvis inbyggd felhantering, som är centralt för en strömningstjänst som Netflix eftersom man inte vill gå miste om bildrutor/bildfragment eller råka få dem i fel ordning. Denna felhantering sker som bekant på bekostnad av snabbhet. Man kan även tänka sig att ett förbindelseorienterat transportprotokoll gör det lättare för Netflix att autentisera betalande kunder. Paketens innehåll var, som tidigare nämnt, krypterade med TLS. All trafik till och från Netflix är kanske inte så pass känslig att den fordrar kryptering, men så länge krypteringen inte påverkar dataöverföringen nämnvärt är det självklart inte heller någon nackdel.

VIII. SAMMANFATTNING OCH FRAMTIDA ARBETE

Sammanfattningsvis verkar det finnas ett samband mellan överföringskapaciteten, buffertlängden och kvaliteten på videon. Den uppspelade bithastigheten beror i högsta grad på överföringskapaciteten och det verkar finnas olika buffertlängder som utlöser en höjning eller sänkning av bithastighet. Detta såg vi exempelvis bevis på för 0.5 Mbit/s, där den buffrande bithastigheten verkade höjas vid 140 sekunders buffertlängd. I ett framtida arbete hade man mer matematiskt kunnat undersöka dessa samband, i stället för att, som vi, försöka tyda graferna med blotta ögat. Det är inte heller säkert att buffertlängden är den enda parametern som algoritmen använder. Man hade alltså kunnat undersöka fler parametrar från Netflix diagnostiska verktyg, exempelvis throughput, och se på det sambandet.

Vad gäller de olika överföringskapaciteterna vi testat för, kan vi säga att 0.5 Mbit/s sannolikt är för långsamt för Netflix. Videon spelas upp i en ganska dålig kvalitet, med en kortare buffert och visar inga egentliga tillstymmelse till att öka markant i bithastighet. Uppspelningen är förvisso oavbruten. Även om 1.5 Mbit/s efter ett tag spelar upp videon i samma kvalitet som för 5 Mbit/s, innebär strömmen en större belastning. I figur 5 såg vi hur i princip all trafik utgjordes av Netflix. Vid 5 Mbit/s är trafiken intensiv i början, men går sedan in i ett mindre belastande, inkrementellt buffrande tillstånd. Med avstamp i detta anser vi att Netflix borde klassificera 1.5 Mbit/s som lägsta hastighet, och 5 Mbit/s som rekommenderad.

Netflix Open Connect verkar mycket effektivt, och servern som vi anslöt till låg mycket nära. Vi hade däremot behövt undersöka Open Connect mer i detalj, exempelvis genom att ansluta till Netflix på olika geografiska platser (med VPN eller liknande), för att dra större och säkrare slutsatser. Netflix använde, som vi beskrev i diskussionen, TCP. Detta medför

inbyggd felhantering, som naturligtvis är ett krav för att uppnå hög videokvalitet och oavbruten uppspelning.

REFERENSER

- [1] Wikipedia, "Netflix," <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Netflix&oldid=928175105>, 2019, hämtad 2019-12-03.
- [2] Sandvine, "Netflix falls to second place in global internet traffic share as other streaming services grow," <https://www.sandvine.com/inthenews/netflix-falls-to-second-place-in-global-internet-traffic-share>, 2019, hämtad 2019-12-03.
- [3] Wikipedia, "Bit rate: Multimedia," https://en.wikipedia.org/wiki/Bit_rate#Multimedia, 2019, hämtad 2019-12-10.
- [4] —, "Technical details of netflix: Information technology," https://en.wikipedia.org/wiki/Technical_details_of_Netflix#Information_technology, 2019, hämtad 2019-12-10.
- [5] —, "Dynamic adaptive streaming over http," https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Adaptive_Streaming_over_HTTP, 2019, hämtad 2019-12-12.
- [6] —, "Data buffer," https://en.wikipedia.org/wiki/Data_buffer, 2019, hämtad 2019-12-10.
- [7] —, "Content delivery network," https://en.wikipedia.org/wiki/Content_delivery_network, 2019, hämtad 2019-12-11.
- [8] Netflix, "Open connect overview," <https://openconnect.netflix.com/Open-Connect-Overview.pdf>, 2019, hämtad 2019-12-11.
- [9] —, "Hastighetsrekommendationer för internetanslutning," <https://help.netflix.com/sv/node/306>, 2019, hämtad 2019-12-09.